Revista Cubana de Ciencias Informáticas
Vol. 13, No. 4, Octubre-Diciembre, 2019
ISSN: 2227-1899 | RNPS: 2301
Pág. 16-29
http://rcci.uci.cu

Tipo de artículo: Artículo original
Temática: Inteligencia artificial
Recibido: 09/08/2019 | Aceptado: 20/10/2019

Sistema de Apoyo a la Toma de Decisiones Basado en Mapas cognitivos Neutrosóficos para Instituciones que atienden a Embarazos con Alto Riesgo por Enfermedades Cardiovasculares

Decision Making Support System Based on Neutrosophic Cognitive Maps for institutions dealing with High Risk Pregnancy due to Cardiovascular Diseases

Salah Hasan Al-subhi[1*], Pedro Antonio Román Rubio[2], Pedro Y. Piñero[1], Gaafar Sadeq S. Mahdi[1], Maikel Leyva-Vázquez[3]

[1]Universidad de las Ciencias Informáticas, Laboratorio de Investigaciones en Gestión de Proyectos, Carretera A San Antonio km 2 ½, CP 17830. La Habana, Cuba. salahcuba@yahoo.com, ppp@uci.cu, gaafarsadeq@yahoo.com

[2]Servicio Nacional de Cardiopatía y Embarazo. Hospital Docente Ginecobstétrico "Ramón González Coro" - Instituto de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. La Habana, Cuba. pedroantonioromanrubio@gmail.com

[3]Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de Computación. Guayaquil, Ecuador. mleyvaz@gmail.com

[*] Autor para correspondencia: salahcuba@yahoo.com

Resumen

Uno de los riesgos durante el embarazo, con mayor impacto negativo tanto para la gestante como para el feto, es el padecimiento de las enfermedades cardiovasculares. El diagnóstico temprano y el adecuado tratamiento de esta patología disminuye significativamente el riesgo para las pacientes. Esta problemática se caracteriza por la insuficiente disponibilidad de expertos que dominen las especialidades médicas involucradas, un elemento que dificulta tanto el proceso de diagnóstico como la selección del tratamiento adecuado. Además, en el tratamiento de esta problemática existen situaciones de indeterminación, incertidumbre, vaguedad y falta de información en los datos, por lo que se requiere el uso de novedosas técnicas computacionales para apoyar la toma de decisiones del personal médico. El objetivo de este trabajo es proponer un nuevo modelo basado en Mapas Cognitivos Neutrosóficos que integre los procesos de diagnóstico, tratamiento y pronóstico para la toma de decisiones durante el tratamiento de gestantes

cardiópatas. En la validación del modelo se emplea una base de datos de 1019 casos provista por el Servicio Nacional de Cardiopatía y Embarazo, Instituto de Cardiología y Cirugía Cardiovascular / Hospital de Ginecología y Obstetricia Ramón Gonzales Coros. Finalmente, se demuestra en el trabajo el uso efectivo del modelo propuesto para el tratamiento de las enfermedades cardiovasculares durante el embarazo.

Palabras clave: Enfermedades cardiovasculares durante el embarazo, proceso de toma de decisiones, mapas cognitivos neutrosóficos, números neutrosóficos triangulares.

Abstract

One of the risks during pregnancy, with high negative impact on both pregnant and fetus, is cardiovascular disease suffering. Early diagnosis and proper treatment of this pathology significantly reduces the risk for pregnant. This problem is characterized by the insufficient availability of experts with knowledge of medical specialties involved, making it difficult to both the diagnosis process and the selection of appropriate treatment. In addition, in the treatment of this problem, there are situations of indetermination, uncertainty, vagueness, and incomplete data, hence the need to create novel computational techniques for supporting clinical decision making. This paper aims at creating a new model based on Neutrosophic Cognitive Maps that integrates diagnosis, treatment, and prediction processes for supporting decision making during the treatment of pregnancies with cardiovascular disease. In order to validate the model, a data base with 1019 cases provided by Cardiovascular and Pregnancy National Service / Gynecology and Obstetrics Hospital Ramón Gonzales Coros, was used. Finally, it is demonstrated in this work the efficient use of the proposed model for treating pregnant with cardiovascular diseases.

Keywords: *Cardiovascular disease during pregnancy, decision making process, neutrosophic cognitive maps, triangular neutrosophic numbers.*

Introducción

El tratamiento de las enfermedades cardiovasculares durante el embarazo es un procedimiento complejo que generalmente es atendido en instituciones especializadas. Las enfermedades cardiovasculares constituyen la principal causa de muerte materna, no relacionada con el embarazo en diferentes países (Tsiaras y Poppas, 2012). Algunas instituciones reflejan que entre un 0.2% y un 4% de los embarazos sufren complicaciones por estas enfermedades. Algunas enfermedades son, la cardiomiopatía periparto que frecuentemente hace su aparición en el periparto (Torga, Rubio, et. al., 2016), arritmias cardiacas (Rubio, Torga, et. al., 2009), coronaria arterial (Torga, Rubio, et. al., 2015), gestantes con prótesis valvular (Rubio, Torga, et. al., 2010). En particular, se identifica un incremento de la incidencia de estas enfermedades por dos factores fundamentales:

- El incremento de enfermedades por incidencia de factores hereditarios (Linares, et. al., 2015).
- El aumento de los factores de riesgos como la hipertensión y la diabetes y la obesidad en mujeres que desarrollan su primer embarazo en edades avanzadas (Guerrero y Batista, 2018).

El diagnóstico y tratamiento temprano de las patologías cardiovasculares durante el embarazo, constituyen un problema de toma de decisiones caracterizados por los siguientes elementos:

- En el momento de la consulta, el equipo médico debe realizar el diagnostico, proponer un tratamiento y estimar el pronóstico de la evolución de la enfermedad. En este proceso se identifican tres problemas de toma de decisiones. El primer problema está asociado al diagnóstico, en el cual se identifica la enfermedad y su nivel de gravedad a partir del análisis de un gran número de factores, tales como síntomas, signos, antecedentes personales y familiares, y exámenes complementarios, entre otros. Una vez diagnosticada la enfermedad, se toman decisiones orientadas al tratamiento adecuado con el objetivo de eliminar o controlar sus efectos materno-fetal. A la hora de asignar el tratamiento, el médico pronostica una posible evolución del paciente, lo que constituye el tercer problema de toma de decisiones.
- Hay presencia de imprecisión en los datos por las siguientes razones:
  - Algunos síntomas de estas enfermedades se tienden a confundir con las propias sintomatologías del embarazo (Elkayam, et. al., 2016).
  - La presencia de relaciones de indeterminación entre los conceptos de decisiones de diagnóstico, decisión y pronóstico. Un ejemplo de lo anterior es que, en ocasiones, no se conoce con exactitud el impacto de un tratamiento sobre la evolución en la paciente.
- Para el tratamiento de las enfermedades cardiovasculares durante el embarazo se requiere el conocimiento de varias especialidades tales como: cardiólogos con experiencia en embarazos, obstetras con experiencias en enfermedades cardiovasculares y neonatólogos con experiencia en obstetricia y cardiología. Debido a la insuficiencia de expertos es necesario el desarrollo de sistemas computacionales que mitiguen la falta de experticia, teniendo en cuenta que no se encuentran en la bibliografía publicaciones relacionadas con el desarrollo de sistemas computacionales para el tratamiento de esta enfermedad en particular.

A partir del análisis anterior se identifica la necesidad de desarrollar un sistema computacional que sirva como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en las instituciones especializadas en el tratamiento de gestantes con enfermedades cardiovasculares. Las técnicas de *soft computing* son robustas en la modelación de sistemas complejos,

dinámicos y con presencia de incertidumbre, imprecisión y vaguedad en los conceptos (Collan y Kacprzyk, 2017). Para la selección de la técnica a usar para la solución de la problemática planteada, se tiene en cuenta los siguientes elementos:

- La capacidad para la gestión de numerosos conceptos interrelacionados con diferentes grados de causalidad.
- La posibilidad de integrar diferentes procesos de decisiones interdependientes (diagnóstico, tratamiento y pronóstico) en un solo sistema de apoyo a la toma de decisiones.
- La capacidad de representar relaciones de retroalimentación e indeterminación entre los conceptos del proceso de toma de decisiones.
- La posibilidad de agregar los conocimientos de múltiples expertos con diferentes grados de experticia que intervienen en el proceso de toma de decisiones.
- Considerar además de la precisión y la capacidad de predicción de los resultados, la transparencia e interpretabilidad de estos resultados.
- El tratamiento de incertidumbre, vaguedad e imprecisión en los datos proveniente de fuentes como: la historia clínica, el examen físico, la evaluación del médico y los exámenes de laboratorio.

A partir los elementos anteriores, en este trabajo en particular se propone el uso de los Mapas Cognitivos Neutrosóficos (MCNs) considerando las ventajas que esta técnica ofrece frente a las otras técnicas de *soft-computing*, in términos de interpretabilidad, escalabilidad, agregación del conocimiento, dinamismo y su capacidad de representar la retroalimentación e indeterminación (Kandasamy y Smarandache, 2003).

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un nuevo modelo que integre los procesos de diagnóstico, tratamiento y pronóstico como un proceso unificado para la toma de decisiones. El modelo propuesto constituye una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para el tratamiento de enfermedades cardiovasculares durante el embarazo, y su uso está orientado al cardiólogo y al equipo multidisciplinario que atiende a este grupo de pacientes.

El trabajo está organizado de la siguiente forma. En la sección 2 se presenta la metodología empleada en la investigación, se conceptualiza el problema de toma de decisiones durante el tratamiento de embarazadas con afecciones cardiovasculares. En la sección 3 se presentan los resultados de la investigación y finalmente se presentan las conclusiones del trabajo.

Metodología computacional

En esta sección se realiza un breve análisis del estado del arte de los Mapas Cognitivos Neutrosóficos. Además, se propone un modelo que integre los procesos de diagnóstico, tratamiento y pronóstico para apoyar la toma de decisiones medicas durante el tratamiento de enfermedades cardiovasculares durante el embarazo.

Los Mapas Cognitivos Neutrosóficos (MCNs) fueron introducidos por Vasantha & Smarandache en 2003 (Kandasamy y Smarandache, 2003). Los MCNs es una integración de los Mapas Cognitivos Difusos (MCDs) introducidos por Kosko en 1986 (Kosko, 1986) y los Conjuntos Neutrosóficos (CNs) introducidos por Smarandache (Smarandache, 1999). Esta técnica supera la incapacidad de los MCDs tradicionales de representar la indeterminación. La inclusión de la indeterminación establece que la neutralidad e ignorancia son también formas de la incertidumbre. A continuación, se presenta un conjunto de definiciones necesarias para el trabajo con los MCNs:

Definición 1 (Smarandache, 1999)**:** Un conjunto neutrosófico $A = \{(x, T_A(x), I_A(x), F_A(x)) \mid x \in U\}$ es definido por una función de membresía $T_A : U \rightarrow]^-0, 1^+[$, una función de indeterminación $I_A : U \rightarrow]^-0, 1^+[$, y una función de no membresía $F_A : U \rightarrow]^-0, 1^+[$, donde $0 \leq sup\ T_A(x) + sup\ I_A(x) + sup\ F_A(x) \leq 3$.

Definición 2 (Wang, et. al., 2010): Sea U un universo de discurso, un conjunto neutrosófico de valor único (CNVU) en U es un objeto con la forma $A = \{(x, T_A(x), I_A(x), F_A(x)) \mid x \in U\}$, donde $T_A : U \rightarrow [0, 1]$, $I_A : U \rightarrow [0, 1]$, y $F_A : U \rightarrow [0, 1]$ con $0 \leq T_A(x) + I_A(x) + F_A(x) \leq 3$ para todos $x \in U$. $T_A(x)$, $I_A(x)$, y $F_A(x)$ representan los grados de membresía, indeterminación, y no membresía de x a U, respectivamente.

Definición 3 (Abdel-basset, et. al., 2018)**:** Un número neutrosófico triangular $\tilde{A}$ es un conjunto neutrosófico especial en la línea real del conjunto R, $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3; \propto_{\tilde{A}}, \theta_{\tilde{A}}, \beta_{\tilde{A}})$, tal que (a_1, a_2, a_3) representa una función triangular, donde $a_1 \leq a_2 \leq a_3$, y $\propto_{\tilde{A}}, \theta_{\tilde{A}}, \beta_{\tilde{A}} \in [0,1]$ son el máximo grado de membresía, el mínimo grado de indeterminación, y el mínimo grado de no membresía, ver Figura 2. $\propto_{\tilde{A}}, \theta_{\tilde{A}}, \beta_{\tilde{A}}$ son utilizados para calcular $T_{\tilde{A}} : R \in [0, \propto_{\tilde{A}}]$, $I_{\tilde{A}} : R \in [\theta_{\tilde{A}}, 1], y\ F_{\tilde{A}} : R \in [\beta_{\tilde{A}}, 1]$ como sigue:

$$T_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \propto_{\tilde{A}} \left(\frac{x-a_1}{a_2-a_1}\right) & (a_1 \leq x \leq a_2) \\ \propto_{\tilde{A}} & (x = a_2) \\ \propto_{\tilde{A}} \left(\frac{a_3-x}{a_3-a_2}\right) & (a_2 < x \leq a_3) \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases} \qquad (1)$$

$$I_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{(a_2 - x + \theta_{\tilde{A}}(x - a_1))}{(a_2 - a_1)} & (a_1 \leq x \leq a_2) \\ \theta_{\tilde{A}} & (x = a_2) \\ \frac{(x - a_2 + \theta_{\tilde{A}}(a_3 - x))}{(a_3 - a_2)} & (a_2 < x \leq a_3) \\ 1 & \text{caso contrario} \end{cases} \quad (2)$$

$$F_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{(a_2 - x + \beta_{\tilde{A}}(x - a_1))}{(a_2 - a_1)} & (a_1 \leq x \leq a_2) \\ \beta_{\tilde{A}} & (x = a_2) \\ \frac{(x - a_2 + \beta_{\tilde{A}}(a_3 - x))}{(a_3 - a_2)} & (a_2 < x \leq a_3) \\ 1 & \text{caso contrario} \end{cases} \quad (3)$$

Tanto los MCDs como los MCNs han sido empleados como herramienta de apoyo a la toma de decisiones clínicas para el tratamiento de diferentes enfermedades (Papageorgiou, 2011), (Iakovidis y Papageorgiou, 2011), (Papageorgiou y Salmeron, 2012), (Bourgani, et. al., 2013), (William, et. al., 2013), (Gaurav, et. al., 2015), (Subramanian, et. al., 2015), (Büyükavcu, et. al., 2016), (Li, et. al., 2017), (Shanmugam y Preethi, 2017), (Amirkhani, et. al., 2018), (Vasantha, et. al., 2019).

En el estudio bibliográfico realizado se constata los siguiente:

- No se reporta ningún trabajo que modele los procesos de diagnóstico, tratamiento y pronóstico de forma secuencial como parte de un proceso integrado de toma de decisiones clínicas. En este aspecto, Papageorgiou et al. (Amirkhani, et. al., 2017) señala entre las líneas abiertas a la investigación en los MCDs, el desarrollo de modelos de toma de decisiones clínicas que integren los procesos de diagnóstico, decisión, pronostico y clasificación en una sola plataforma.
- Poca aplicación de los MCNs en la resolución de problemas asociados al campo de la medicina, a pesar que en este escenario existen situaciones de indeterminación.
- Los trabajos que emplean los MCNs representan la indeterminación con la letra *I* permitiendo solo indicar la indeterminación en las salidas sin cuantificar el grado de verdad, indeterminación y falsedad.
- No se reporta ningún trabajo donde se emplean los MCDs o sus extensiones incluyendo los MCNs para la toma de decisiones durante el tratamiento de gestantes cardiópatas.

Revista Cubana de Ciencias Informáticas
Vol. 13, No. 4, Octubre-Diciembre, 2019
ISSN: 2227-1899 | RNPS: 2301
Pág. 16-29
http://rcci.uci.cu

Modelo de toma de decisiones para el tratamiento de las enfermedades cardiovasculares durante el embarazo

El modelo propuesto permite la participación de múltiples expertos para la construcción del mapa disminuyendo el sesgo que puede provocarse por la consideración de las preferencias de un solo experto. Además, el nuevo modelo tiene la capacidad de representar las relaciones de indeterminación entre los conceptos de decisión para el tratamiento de las gestantes cardiópatas. A diferencia de otros modelos identificados en la literatura consultada que representan la indeterminación con la letra I, este modelo introduce un nuevo enfoque para representar la indeterminación mediante números neutrosóficos triangulares, ver definición 3. Esto tiene como ventaja la posibilidad de cuantificar los grados de certeza, indeterminación y falsedad en los nodos de salida, así como facilitar que los conceptos y sus relaciones se puedan expresar con términos lingüísticos.

Las fases del modelo propuesto son detalladas en el siguiente algoritmo:

Algoritmo_1. pseudo-código del algoritmo para la construcción y explotación del MCN

1. Seleccionar K expertos médicos ($K > 2$) considerando que tengan niveles similares de experticia.
2. Identificar los conceptos a relacionar por cada una de las etapas del proceso de toma de decisión (C_1, C_2 … C_n, D_1, D_2 … D_r, R_1, R_2 … R_s). Tal que los conceptos de C_q corresponden a los nodos de diagnóstico, los conceptos de D_j corresponden a los nodos de decisión asociados al tratamiento, y los conceptos de R_i son los asociados al pronóstico.
3. Asignar la variable lingüística L para representar las relaciones causales entre los conceptos con el siguiente conjunto de términos lingüísticos *LBTL = {Negativamente_Extremadamente_Alto, Negativamente_Muy_Alto, Negativamente_Alto, Negativamente_Medio, Negativamente_Bajo, Negativamente_Muy_Bajo, Nada, Muy_Bajo, Bajo, Medio, Alto, Muy_Alto, Extremadamente_Alto, Indeterminación}*.
4. Cada experto e_i construye un mapa M_{e_i} expresando sus preferencias sobre la dirección e intensidad de las relaciones entre los conceptos, tal que w_{ij} representa el peso de la conexión entre C_i y C_j.
5. Agregar los M_{e_i} mapas construidos por los expertos obteniendo el mapa agregado M_c.
6. C_0 *recibe el vector inicial de entrada que representa los síntomas y signos*, $t = 1$
7. *estabilidad* = false
8. Realizar diagnóstico
9. Mientras not estabilidad && t <= max_iteración do
10. $C_i^{t+1} = f\left((C^t + \sum_{i=1}^{n} w_{ji} \odot C_j^t\right)$
11. *estabilidad* = $\forall\ C^t,\ |C^{t+1} - C^t| < \varepsilon$
12. $t = t + 1$

```
  Fin del mientras
D0= C^t, t = 1
estabilidad = false
Realizar tratamiento
   Mientras not estabilidad && t <= max_iteración do
      D_i^{t+1} = f((D_i^t + Σ_{i=1}^{n} w_ji . D_j^t)
      estabilidad = ∀ D^t, |C^{t+1} - C^t| < ε
       t = t + 1
   Fin del mientras
R0= D^t, t = 1
estabilidad = false
Realizar pronóstico
   Mientras not estabilidad && t <= max_iteración do
      R_i^{t+1} = f((R_i^t + Σ_{i=1}^{n} w_ji . R_j^t)
      estabilidad = ∀ R^t, |R^{t+1} - R^t| < ε
       t = t + 1
   Fin del mientras
Devolver(C^t,D^t,R^t)
```

El proceso de la simulación está basado en un modelo de ejecución que calcula los niveles de activación en iteraciones sucesivas de los distintos conceptos. Esta simulación requiere adicionalmente la definición de los valores iníciales para cada concepto en un vector inicial (Nair, et. al., 2019). El vector inicial, en este caso en particular, está dado por las síntomas y signos que presenta la gestante cardiópata. A partir de estos datos de entrada se generan los posibles nodos de diagnóstico. Los nodos generados en la etapa de diagnóstico son utilizados como vector inicial para la siguiente etapa asociada a las decisiones que representan los posibles tratamientos. Finalmente, las salidas generadas por la etapa de decisiones son utilizados como datos de entrada en la etapa final asociada al pronóstico. En esta etapa se generan los posibles pronósticos que permiten conocer la evolución de la gestante cardiópata de acuerdo al tratamiento que le fue indicado en la etapa anterior. Los valores de los conceptos del mapa en las tres etapas son calculados en cada paso de la simulación de la siguiente forma:

$$A_i^{t+1} = f\left(A_i^{t} + \sum_{i=1}^{n} W_{ji} \cdot A_j^{t}\right) \quad (4)$$

donde A_i^{t+1} es el valor del concepto C_i en el paso $t+1$ de la simulación, $A_j^{(t)}$ es el valor del concepto C_j en el paso t de la simulación, w_{ji} es el peso de la conexión que va del concepto C_j al concepto C_i y $f(\cdot)$ es la función de activación

(Bueno and Salmeron 2009). De acuerdo al vector de entrada, el mapa convergerá a uno de los siguientes estados: punto fijo, ciclo límite o atractor caótico.

Resultados y discusión

Para la construcción del mapa se aplicó el algoritmo_1. Se seleccionó un grupo de tres expertos con experiencia de aproximadamente 20 años en el tratamiento de gestantes cardiópatas de los siguientes centros médicos: Servicio Nacional de Cardiopatía y Embarazo, Hospital Docente Ginecobstétrico "Ramón González Coro" y el Instituto de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Como un resultado importante se identificaron como relevantes para el modelo de toma de decisiones, en el contexto de la investigación, los siguientes conceptos:

- Conceptos asociados a los datos de entrada (síntomas y signos): edad (ED), obesidad (OB), tabaquismo (TAB), antecedentes patológicos familiares (APF), antecedentes patológicos personales (APP), electrocardiograma (ECG), ecografía (ECO) y la clase funcional (CF).
- Conceptos asociados al diagnóstico: obstrucción a la salida (OS), obstrucción a la entrada (OE), trastornos del ritmo (TR), trastornos de la conducción (TC), enfermedades congénitas (EC) y enfermedades genéticas (EG).
- Conceptos de tratamiento que identifican diferentes posibles decisiones: interrupción del embarazo (IE), tratamiento diurético (TD), tratamiento Anti arrítmicos (TAA), tratamiento con beta bloqueadores (TBB) y tratamiento con anticoagulantes (TAC).
- Conceptos de evolución que representa el pronóstico: parto eutócico (PE), parto distócico (PD), niño con complicaciones (NCC), niño sin complicaciones (NSC), madre con complicaciones (MCC) y madre sin complicaciones (MSC).

Otro resultado fue la definición de los siguientes números neutrosóficos triangulares, ver tabla 1.

Tabla 1. Números neutrosóficos triangulares para representar las relaciones del mapa

Términos lingüísticos	Números neutrosófico triangular
Negativamente_Extremadamente_Alto (NEXA)	(-0.83, -1.0, -1.0, 0.95, 0.45, 0.15)
Negativamente_Muy_Alto (NMA)	(-0.67, -0.83, -1.0, 0.95, 0.45, 0.15)

Revista Cubana de Ciencias Informáticas
Vol. 13, No. 4, Octubre-Diciembre, 2019
ISSN: 2227-1899 | RNPS: 2301
Pág. 16-29
http://rcci.uci.cu

Negativamente_Alto (NA)	(-0.5, -0.67, -0.83, 0.95, 0.45, 0.15)
Negativamente_Medio (NM)	(-0.33, -0.5, -0.67, 0.95, 0.45, 0.15)
Negativamente_Bajo (NB)	(-0.17, -0.33, -0.5, 0.95, 0.45, 0.15)
Negativamente_Muy_Bajo (NMB)	(0, -0.17, -0.33, 0.95, 0.45, 0.15)
Nada (N)	(0, 0.07, 0.17, 0.95, 0.45, 0.15)
Muy_Bajo (MB)	(0, 0.17, 0.33, 0.95, 0.45, 0.15)
Bajo (B)	(0.17, 0.33, 0.5, 0.95, 0.45, 0.15)
Medio (M)	(0.33, 0.5, 0.67, 0.95, 0.45, 0.15)
Alto (A)	(0.5, 0.67, 0.83, 0.95, 0.45, 0.15)
Muy_Alto (MA)	(0.67, 0.83, 1.0, 0.95, 0.45, 0.15)
Extremadamente_Alto (EXA)	(0.83, 1.0, 1.0, 0.95, 0.45, 0.15)
Indeterminación (IND)	(0, 0, 0, 0.1, 0.9, 0.1)

Se logró la modelación de un mapa agregado a partir de las preferencias de los expertos, ver figura 1.

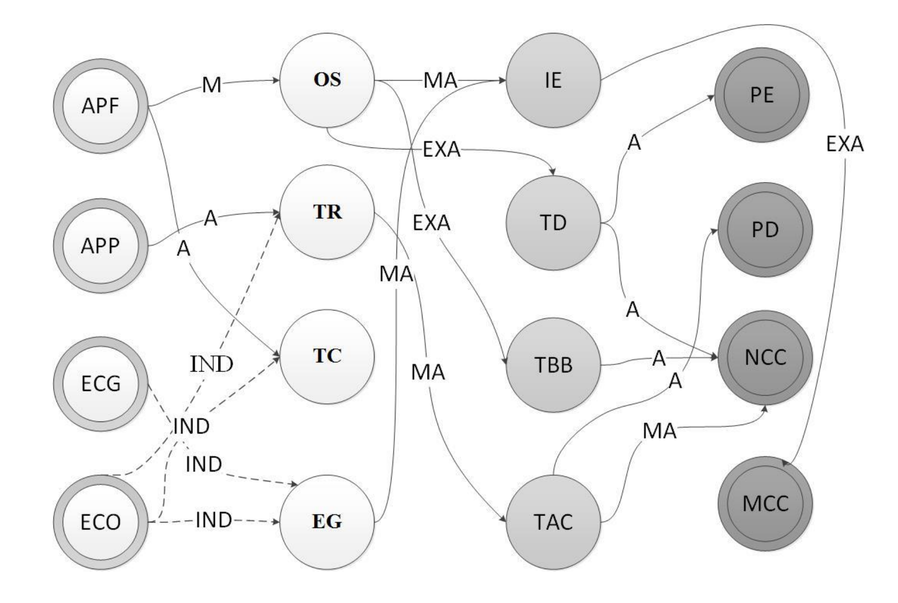


Figura 1: Vista parcial del Mapa Cognitivo Neutrosófico para la toma de decisiones durante el tratamiento de embarazadas cardiópatas.

Para la validación del modelo, se tomó una base de casos construida por los especialistas del Servicio Nacional de Cardiopatía y Embarazo, Hospital Docente Ginecobstétrico "Ramón González Coro" y el Instituto de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. La base de casos contiene 1019 casos de embarazadas con diferentes patologías cardiovasculares. Dentro de las ventajas encontradas por el personal médico, se encuentran la facilidad de la interoperabilidad del modelo y la posibilidad interrelacionar los diferentes conceptos asociados al diagnóstico, tratamiento y pronóstico. Desde el punto de vista médico, la aplicación del modelo ayudó al entrenamiento del personal médico con poca experiencia en las enfermedades cardiovasculares durante el embarazo. Además, a juicio del personal médico, el modelo contribuyó a mejorar la eficacia del diagnóstico y tratamiento de estas afecciones.

Conclusiones

En este artículo, se presentó un nuevo modelo basado en un Mapa Cognitivo Neutrosófico (MCN) para la toma de decisiones clínicas que involucra simultáneamente los procesos de diagnóstico, tratamiento y pronóstico. El modelo fue aplicado satisfactoriamente para el tratamiento de enfermedades cardiovasculares durante el embarazo.

El nuevo modelo ofrece un tratamiento mejor de la incertidumbre a partir de su capacidad de representar las relaciones de indeterminación presentes en el proceso de toma de decisiones durante el tratamiento de estas enfermedades, y a diferencia de otros modelos, permite cuantificar los grados de certeza, indeterminación y falsedad.

Dentro de las ventajas encontradas por el personal médico con el uso del modelo, se encuentran la alta interoperabilidad, así como su capacidad de interrelacionar los diferentes conceptos asociados al tratamiento de estas afecciones. El uso del modelo propuesto contribuyó a la superación profesional del personal médico con poca experiencia en el tratamiento de las gestantes cardiópatas. Además, el modelo contribuyó a mejorar el diagnóstico y tratamiento de estas afecciones en términos de rapidez y precisión.

Como trabajo futuro, se propone extender el uso de este modelo en escenarios donde hay baja experticia para el diagnóstico, tratamiento y pronóstico de otras enfermedades.

Referencias

ABDEL-BASSET, M.; MOHAMED, M.; HUSSIEN, A.-N.; SANGAIAH, A.K. A novel group decision-making model based on triangular neutrosophic numbers. Soft Computing, 2018, vol. 22, p. 6629–6643.

AMIRKHANI, A.; PAPAGEORGIOU, E.I.; MOHSENI, A.; MOSAVI, M.R. A review of fuzzy cognitive maps in medicine: Taxonomy, methods, and applications. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2017, vol. 142, p. 129–145. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2017.02.021.

AMIRKHANI, A.; PAPAGEORGIOU, E.I.; MOSAVI, M.R.; MOHAMMADI, K. A novel medical decision support system based on fuzzy cognitive maps enhanced by intuitive and learning capabilities for modeling uncertainty. Applied Mathematics and Computation, 2018, vol. 337, p. 562–582.

BOURGANI, E.; STYLIOS, C.; GEORGOPOULOS, V.; MANIS, G. A study on fuzzy cognitive map structures for medical decision support systems. The 8th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology, 2013. Milano, Italy.

Büyükavcu, A.; Albayrak, Y.E.; Göker, N. A fuzzy information-based approach for breast cancer risk factors assessment. Applied Soft Computing, 2016, vol. 38, p. 437–452. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.09.026.

COLLAN, M.; KACPRZYK, J. Soft Computing Applications for Group Decision-making and Consensus Modeling. Warsaw, Poland. Springer, 2017.

ELKAYAM, U.; GOLAND, S.; PIEPER, P.G.; SILVERSIDES, C.K. High-Risk Cardiac Disease in Pregnancy: Part II. Journal of the American College of Cardiology, 2016, vol. 68, p. 502–516. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.05.050.

GUERRERO, M.A.C.; BATISTA, C.M.M. Enfermedades cardiovasculares en gestantes de la Policlínica Universitaria “Máximo Gómez Báez” Holguín, Cuba. Revista Cubana de Obstetricia y Ginecología, 2018, vol. 44(4).

GAURAV; KUMAR, M.; BHUTANI, K.; AGGARWAL, S. Hybrid model for medical diagnosis using Neutrosophic Cognitive Maps with Genetic Algorithms. IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2015. Disponible en: https://doi.org/10.1109/FUZZ-IEEE.2015.7338015.

IAKOVIDIS, D.K.; PAPAGEORGIOU, E. Intuitionistic Fuzzy Cognitive Maps for Medical Decision Making. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2011, vol. 15, p. 100–107. Disponible en: https://doi.org/10.1109/TITB.2010.2093603.

KANDASAMY, W.B.V.; SMARANDACHE, F. Fuzzy Cognitive Maps and Neutrosophic Cognitive Maps. Xiquan, Phoenix, 2003.

KOSKO, B. Fuzzy cognitive maps. International Journal of Man-Machine Studies, 1986, vol. 24, p. 65–75.

LI, L.; ZHANG, R.; WANG, J. A Medical Diagnosis Method Based on Interval-valued Fuzzy Cognitive Map. IEEE 17th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering, 2017. Beijing, China. Disponible en: https://doi.org/10.1109/BIBE.2017.00075.

LINARES, J.M.M.; CHICA, M.L. DEL M.; ARENAS, A.L. Actualización sobre embarazo y enfermedad cardiovascular. Enfermería en cardiología, 2015, 22 (66): p. 54–59.

NAIR, A.; RECKIEN, D.; VAN MAARSEVEEN, M.F.A.M.: A generalised fuzzy cognitive mapping approach for modelling complex systems. Applied Soft Computing, 2019, vol. 84, p. 1-13(105754). Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105754.

PAPAGEORGIOU, E.I.: A new methodology for Decisions in Medical Informatics using fuzzy cognitive maps based on fuzzy rule-extraction techniques. Applied Soft Computing Journal, 2011, vol. 11, p. 500–513. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.asoc.2009.12.010.

PAPAGEORGIOU, E.I., SALMERON, J.L. Learning Fuzzy Grey Cognitive Maps using Nonlinear Hebbian-based approach. International Journal of Approximate Reasoning, 2012, vol. 53, p. 54–65. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.ijar.2011.09.006.

RUBIO, P.R.; TORGA, E.P., et. al. Cardioversión eléctrica durante el embarazo. Revista Cubana de Medicina Intensiva y Emergencias, 2009, vol. 8, p. 1544–1550.

RUBIO, P.A.R.; TORGA, J.E.P., et. al. Recomendaciones generales para el manejo de la gestante cardiópata (parte II). Revista Cubana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular, 2010, vol. 16, p. 466–475.

SHANMUGAM, S.; PREETHI, J. A Study of Early Prediction and Classification of Arthritis Disease using Soft Computing Techniques. International Journal for Research in Engineering Application & Management, 2017, vol. 3, p. 35–47. Disponible en: https://doi.org/10.18231/2454-9150.2017.0006.

SMARANDACHE, F. A Unifying Field in Logics: Neutrosophic Logic. En: Perez, M. (ed.) Philosophy. American Research Press (1999).

SUBRAMANIAN, J.; KARMEGAM, A.; PAPAGEORGIOU, E.; PAPANDRIANOS, N.; VASUKIE, A. An integrated breast cancer risk assessment and management model based on fuzzy cognitive maps. Computer Methods and

Programs in Biomedicine, 2015, vol. 118, p. 280–297. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2015.01.001.

TORGA, J.E.P.; RUBIO, P.A.R., et. al. Cardiomiopatía periparto. Revista Cubana de Obstetricia y Ginecología, 2016, vol. 42, p. 223–237.

TORGA, J.E.P.; RUBIO, P.A.R., et. al. Coronary Artery Disease and Pregnancy. Global Journal of HUMAN-SOCIAL SCIENCE: I Surgeries and Cardiovascular System, 2015, vol. 15, p. 15–18.

TSIARAS, S.; POPPAS, A. Cardiac disease in pregnancy: value of echocardiography. Curr Cardiol Rep, 2012, vol. 12, p. 250–256.

VASANTHA W.B.; ILANTHENRAL K.; VINAYAK DEVVRAT, S. G. Study of Imaginative Play in Children using Neutrosophic Cognitive Maps Model. Neutrosophic Sets and Systems, 2019, vol. 30, p. 241-252. Disponible en: https://doi.org/10.5281/zenodo.3569702

WANG, H.; SMARANDACHE, F.; ZHANG, Y.; SUNDERRAMAN, R. Single valued neutrosophic sets. Multispace and Multistructure, 2010, vol. 4, p. 410–413.

WILLIAM, M.A.; DEVADOSS, A.V.; SHEEBA, J.J. A study on Neutrosophic cognitive maps (NCMs) by analyzing the Risk Factors of Breast Cancer. International Journal of Scientific & Engineering Research, 2013, 4(2): p. 1–4.